



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PROCESU VÝROBY TRUBEK

OPTIMIZATION OF MANUFACTURING PROCESS OF TUBES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaroslav Kohout

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jaroslav Kohout**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Optimalizace procesu výroby trubek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o optimalizaci procesu výroby švově svařovaných trubek ve firmě ACO Industries k.s. Půjde zejména o zpracování literární studie shrnující technologické možnosti. Rešerše bude obsahovat rozbor současného stavu s návrhem efektivnější výroby.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit stávající proces výroby trubek,
- popsat princip technologie,
- provést průzkum nových možností výroby,
- zhodnotit využitelnost možností pro konkrétní podmínky firmy.

Seznam doporučené literatury:

POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: Svařované trubky. Miroslav Makarius. Spálená 51, Praha 1: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 228 s.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214- 4406-52.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

KOHOUT Jaroslav: Optimalizace procesu výroby trubek.

Práce předkládá návrh na zvýšení rychlosti svařování v procesu výroby trubek z korozivzdorných ocelí 1.4301 a 1.4404. Na základě rozboru stávající metody bylo vyhodnoceno, že zvýšení výkonnosti bude nejvhodnější pomocí úpravy technologie svařování. Byly navrženy 4 metody, s popsáním principu, výhod a nevýhod. Jako nejefektivnější a nejméně cenově náročná vyšla úprava stávající metody TIG použitím dvou hořáků, s možným vylepšením spočívajícím v použití jiného ochranného plynu.

Klíčová slova: výroba trubek, svařování, metoda TIG, LASER, LATIG

ABSTRACT

KOHOUT Jaroslav: Optimization of manufacturing process of tubes

Elaborated thesis presents a proposal to increase welding speed in the process of production of stainless steel tubes 1.4301 and 1.4404. Based on analysis of the existing method was evaluated, that performance improvement would be most appropriate by adjusting the welding technology. Four methods have been proposed, describing the principle, advantages and disadvantages. The most effective and cheapest was the modification of the existing TIG method using two torches, with the possible improvement of using another shielding gas.

Keywords: tubes manufacturing, welding, TIG method, LASER, LATIG

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOHOUT, Jaroslav. *Optimalizace procesu výroby trubek* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116661>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 23.5.2019

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce, dále bych chtěl poděkovat společnosti ACO Industries k.s., zvláště pak jejímu zaměstnanci Zdeňkovi Dobrovolnému za vstřícný přístup, poskytnutí rad a podělení se o zkušenosti z praxe. Zároveň bych rád poděkoval svojí rodině za podporu během studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
-------------------	----------

1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
------------------------------	-----------

1.1 Stávající proces.....	10
----------------------------------	-----------

2 VYBRANÁ ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU.....	15
--	-----------

2.1 Svařování metodou TIG.....	15
---------------------------------------	-----------

2.2 Svařování metodou Laser	21
--	-----------

2.3 Svařování hybridní metodou LATIG.....	24
--	-----------

2.4 Indukční svařování	25
-------------------------------------	-----------

2.5 Vyhodnocení svařovacích metod.....	27
---	-----------

3 ZÁVĚRY	28
-----------------------	-----------

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

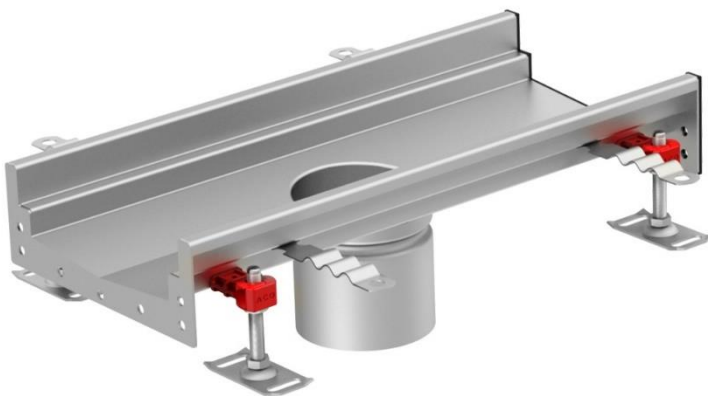
Seznam tabulek

Seznam příloh

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Mezi jeden z problémů spojených s pobytem člověka na planetě Zemi patří potřeba přemísťování vody a jiných látek z míst, kde nejsou žádoucí. Typickými příklady jsou prvky stavebnictví - koupelny rodinných domů a bytů, kanalizace, chemické a potravinářské podniky, nebo třeba vepřiny a jiné zemědělské objekty. Všude zde se vyskytují prvky odvodnění, ať už se jedná o odvod užitkové vody nebo splašků. Každá stavba si žádá individuální přístup a pokud možno použití co možná nejefektivnějších odvodňovacích zařízení. Mezi takové se řadí žlaby (obr. 1), vpusti (obr. 2), poklopy a kryty šachet, ale i čerpací technika nebo zpětné klapky.

K základním prvkům většiny takových odvodňovacích zařízení patří trubky, které jsou používány jak ve formě standardních potrubí, tak i jako krátké části odtoků či vtokových soustav s rozličně upravenými konci, viz obr. 3. Výroba trubek patří k základním odvětvím strojírenství. Podle způsobu produkce se dají dělit na švové a bezešvé. Pro účely odvodnění jsou vhodnější švové, protože jejich mechanické vlastnosti postačují nárokům a výroba není tak nákladná.



Obr. 1 Žlab s výpustí [1]



Obr. 2 Vpust' [1]



Obr. 3 Běžně používané trubky s vyhrdleními [2]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [6], [7], [8], [9]

Řešeným problémem je výroba trubek z korozivzdorné oceli pro společnost ACO Industries k.s. v Příbyslavi. Trubky se zde používají jako polotovary pro další výrobu, případně se vyhrdlují a tím z nich vznikají hotové produkty. Stávající produkce probíhá na automatické lince společnosti Attl, která momentálně pokrývá výrobní požadavky, v případě zvýšení nároků ovšem není schopna zásobovat firmu dostatečně rychle. Jako efektivní řešení problému se jeví změna technologie svařování.

Firma je součástí nadnárodní společnosti ACO Group rozprostírající se na čtyřech kontinentech ve čtyřiceti zemích, založená již roku 1946 a řadící se mezi jednu z předních firem na světovém trhu s odvodňovací technikou. Podnik v Příbyslavi patří mezi největší závody na Vysočině a rovněž se řadí mezi šest hlavních výrobních základen společnosti.

Vývoj a hlavní část výroby firmy se soustředí především na profesionální systémy pro odvodnění průmyslových budov a venkovních zpevněných ploch. Vyrábí se zde různé druhy mřížkových roštů, silniční přístupové kryty a odvodňovací soustavy. Mnoho těchto zařízení obsahuje právě části trubek, které jsou ve většině případů vyráběny přímo v podniku, jmenovitě průměry s danými tloušťkami stěn, které jsou v podniku vyráběny, jsou uvedeny v tab. 3.

Základními materiály pro výrobu jsou korozivzdorné oceli s označením 1.4301 a 1.4404, jejichž mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 Vlastnosti oceli 1.4301 [6]

Materiál	Ocel 1.4301		
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Mez kluzu Re [MPa]
	640	45	250
Chemické složení	Uhlík - C [%]	Síra - S [%]	Fosfor - P [%]
	0,05	0,015	0,04

Tab. 2 Vlastnosti oceli 1.4404 [7]

Materiál	Ocel 1.4404		
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Mez kluzu Re [MPa]
	600	40	260
Chemické složení	Uhlík - C [%]	Síra - S [%]	Fosfor - P [%]
	0,03	0,015	0,04

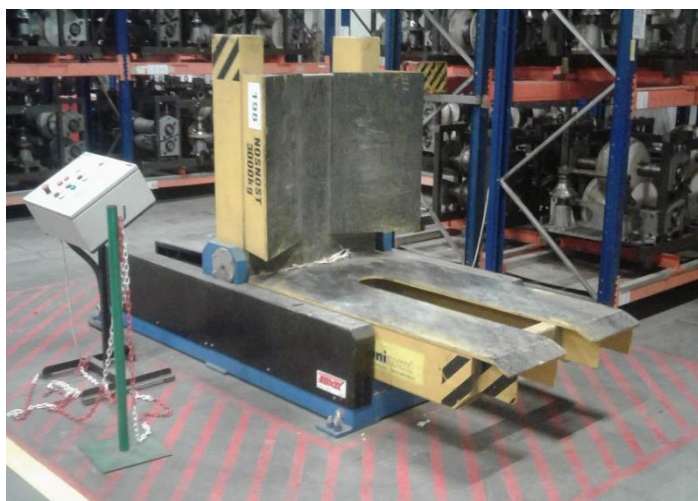
Tab. 3 Vyráběné rozměry trubek [2]

t/D [mm]	50	75	110	125	160	200
1	✓	✓	✓	✗	✗	✗
1,25	✗	✗	✗	✓	✗	✗
2	✗	✗	✗	✗	✓	✓

1.1 Stávající proces [8], [9], [10], [11]

Výroba trubek ve firmě ACO začíná přivezením svitku plechu, tedy polotovaru budoucí trubky. Svitek má požadovanou šířku v závislosti na typu vyráběné trubky a musí splňovat další kritéria jako je požadavek na rovnoměrnou tloušťku materiálu a šavovitost svinutého pásu plechu v mezích daných potřebou výrobní linky. Zde nastává první problém – svitky plechu jsou z důvodu transportu přepravovány v poloze svislé, ale pro výrobu jsou potřeba v poloze vodorovné, kvůli nasazení na odvíjecí zařízení válcovací linky. Přetáčení pomocí vysokozdvížného vozíku se ukázalo jako problematické, neboť docházelo k deformaci části okraje pásu, který byl následně jen těžko použitelný, protože zdeformované hrany nebylo

možné srovnat dostatečně přesně k sobě pro následné svařování. Tento problém byl vyřešen až nedávno pomocí speciální otáčečky svitků, která je na obr. 4.



Obr. 4 Otáčeční zařízení



Obr. 5 Svitek na odvíjecím zařízení

Samotný průběh zhotovení trubky začíná usazením svitku na buben odvíjecího zařízení, viz obr. 5, následuje jednoduché sestřížení či seříznutí konce pásu a jeho svaření s koncem pásu předešlého, k tomu slouží speciální stůl, jak je vidět na obr. 6, nebo přímo zavedení pásu mezi rolny válcovacího zařízení. Zavedení pásu zajišťují naváděcí přípravky složené ze dvou bronzových lišt ve vertikálním směru a dva vodorovně uložené kalené válce ve směru horizontálním, viz obr 7.

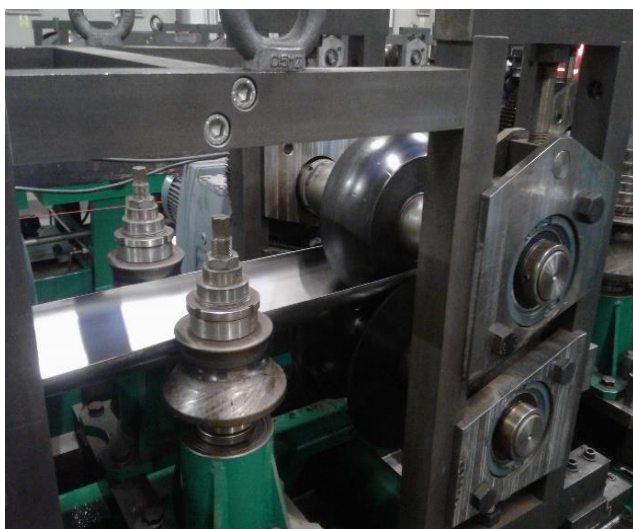


Obr. 6 Pomocný stůl



Obr. 7 Vstupní válce

Následuje proces profilování, tedy postupné tvarování pásu plechu do tvaru šterbinové trubky. Tvarování profilu se odehrává v řadě za sebou uspořádaných párů profilových válců, jeden pár válců je na obr. 8, při čemž dochází k vystavení plechu postupně a spojitě se zvětšujícímú příčnému ohybu, jeho principiální schéma je na obr. 9. Teoreticky se při něm nemění tloušťka plechu a dochází tedy jen k tvarové změně, průřezová plocha výchozího polotovaru a hotového výrobku je stejná. Ve skutečnosti dochází v malé míře k zeslabování průřezu, tato změna je ale velmi malá a lze ji zanedbat. Tento způsob tváření je v technologické praxi obvyklý nejen při výrobě švových trubek, ale zejména u ocelových a hliníkových tenkostěnných profilů.

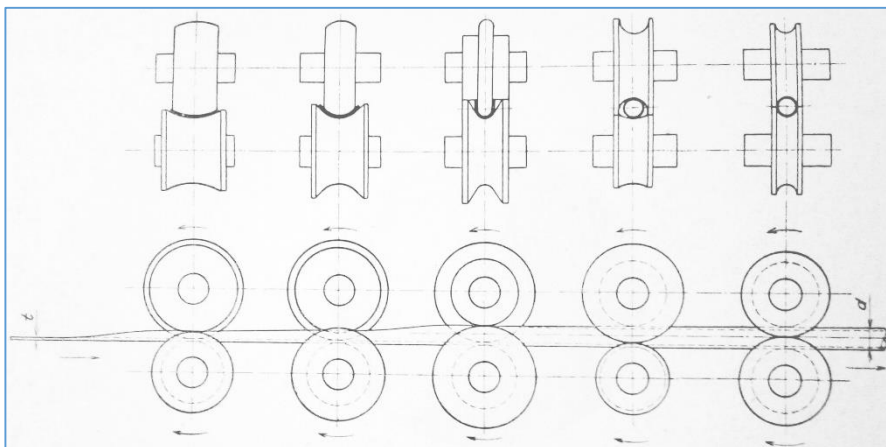


Obr. 8 Profilovací válec



Obr. 11 Válec s žebrem

Požadovaný tvar trubky je v tomto případě zformován po průchodu osmi válcovacími stolicemi. Tento způsob výroby je náročný na zástavbu, neboť pro každý průměr vyráběných trubek je potřeba vlastní sada válcovacích a kalibračních stolic, jak je vidět na obr. 10. Poslední pár tvářecích válců je vybaven speciálním žebrem, které pomáhá udržovat štěrbinu v přesné pozici pro další práci (obr. 11). V těsné návaznosti následuje stůl se svařovacím zařízením. Spojení hran vytvořeného profilu je uskutečněno svařováním metodou TIG, viz obr. 12.



Obr. 9 Schéma postupného profilování

Svářecí hořák je umístěn na držáku, který zaručuje možnost přesného nastavení polohy. Hraný profilu nejsou po průchodu samotným formovacím zařízením dostatečně přesně u sebe a nebylo by možné je svařit. Z tohoto důvodu jsou těsně před hořákem umístěny pomocné přidržovací kladky (obr. 13), které přitlačují hrany plechu k sobě. Z důvodu tvorby kvalitního kořene svaru je z vnitřní strany trubky pod hořák přiveden ochranný plyn, pomocí speciálního jádra uchyceného za rám předchozí stolice, jak je vidět na obrázcích 14 a 15.



Obr. 10 Skladování přípravků



Obr. 12 Umístění hořáku



Obr. 13 Pomocné kladky

Svařením profilu dojde v jisté míře k deformaci jeho tvaru. Svařené hrany vytvoří na profilu „špičku“, obr. 16, kterou je potřeba odstranit, k tomu dochází mezi následující dvojicí profilových válců a pomocí další sekce již zmiňovaného jádra uvnitř trubky. Svar je zde rozválcován a profil trubky částečně srovnán, viz obr. 17.

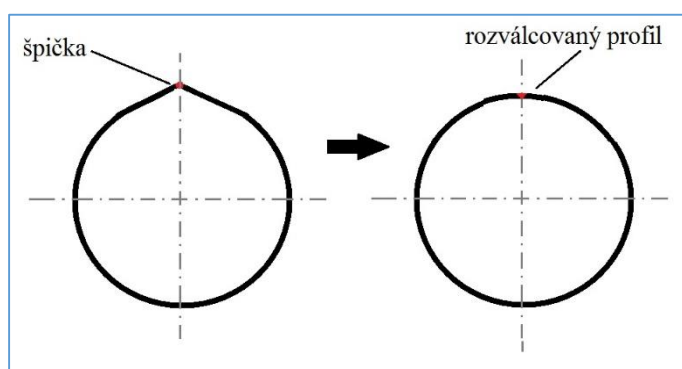


Obr. 14 Uchycení jádra

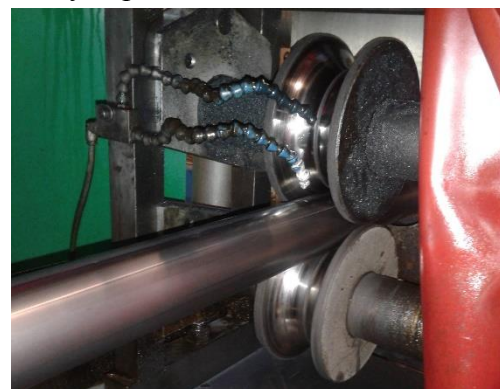


Obr. 15 Jádro

Následuje kontrola svaru. K tomu slouží defektoskop a označovací aparát, jak je vidět na obrázcích 18 a 19. Zařízení pracuje na principu zjišťování povrchových vad metodou vířivých proudů a je přímo určené ke zjišťování necelistvostí u dlouhých profilů.



Obr. 16 Špička na profilu



Obr. 17 Rozválcování svaru



Obr. 18 Detekce a značení vad



Obr. 19 Defektoskop

Pokud je zjištěna vada, daná část trubky je označena červenou barvou a na konci výrobního procesu oddělena od zbytku profilu. Trubka dále pokračuje průchodem do kalibračních válců, které je možno vidět na obr. 20, kde se její průměr zmenšuje na přesnou hodnotu. Tento druh kalibrace je výhodný z důvodu vnesení deformačního zpevnění do procesu a tedy zpevnění trubky.

Po kalibraci profilu následuje další stůl se třemi rovnacími hlavami, které zabezpečují korekci přímosti, viz obr. 19. Rovnací hlavy mají funkční nehnatá rovnací čela se samostatným horizontálním a vertikálním nastavením, kolmo na směr válcování, s možností stranového vychýlení vůči ose profilu, jak lze vidět na obr. 21. Tím je zaručena možnost úpravy průhybu.



Obr. 20 Kalibrační válce

Při přestavbě dochází k výměně pouze funkčních rovnacích čel, rám rovnacích hlav zůstává. Průchodem rovnacími válci v podstatě končí proces výroby profilu a následuje další zpracování, tedy dělení trubek na požadovanou délku, případně vyříznutí nevyhovující části trubky. K tomu slouží pila pro letmé dělení na obr. 22.



Obr. 21 Rovnací válce



Obr. 22 Pila pro letmé dělení

2 VYBRANÁ ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU [11], [12], [13], [14], [15]

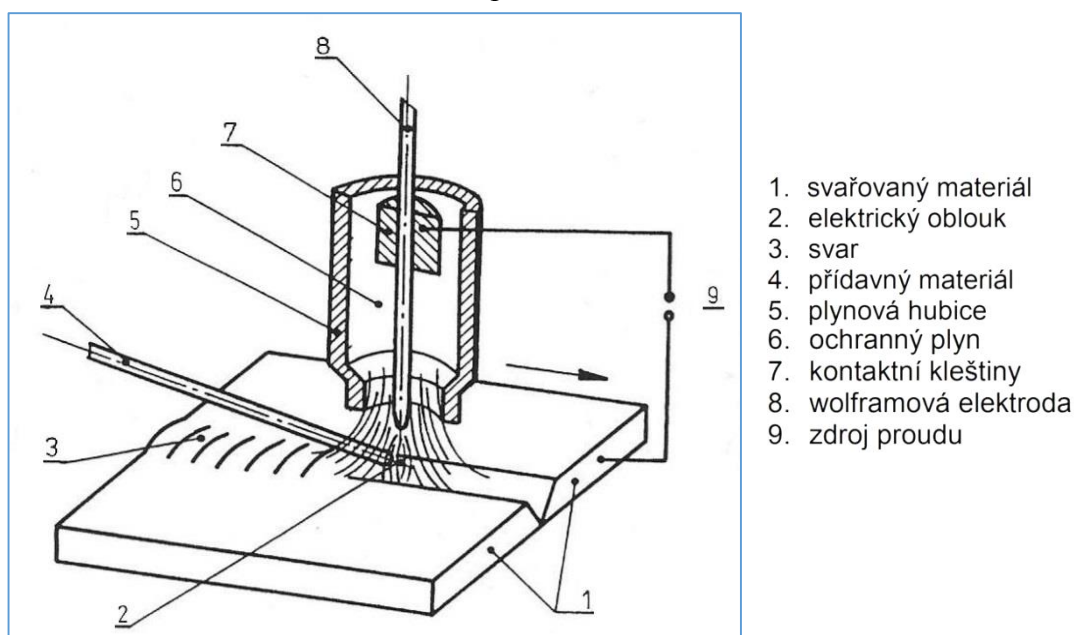
S popsaným postupem stávající výroby je linka optimálně nastavena na rychlost výroby trubek přibližně 2 m/min. Válcovací trať je podle výrobce schopna tvořit profil rychlostí až 10 m/min, pila pro letmé dělení rovněž umožňuje až 10 m/min.

Za „brzdící“ prvek výrobního procesu lze tedy označit technologii spojení tvořeného profilu, konkrétně svaření metodou TIG. Po domluvě s firmou ACO bylo navrženo zaměřit se na zlepšení procesu svařování. V rámci zefektivnění výroby, tedy zvýšení rychlosti spojování profilu změnou technologie svařování, se jako možná řešení jeví:

- upravení stávajícího svařovacího zařízení, použití více hořáků TIG
- svařování laserem
- svařování hybridní kombinací technologií LASER a TIG
- vysokofrekvenční indukční svařování

2.1 Svařování metodou TIG [11], [12] [15], [16], [17], [18]

Stávající výroba probíhá právě metodou TIG, kde je rychlost omezena přibližně na 1,5 - 2 m/min. Základní princip spočívá v tom, že oblouk hoří mezi svařovaným materiálem a netavící se elektrodou. Ochrana elektrody a tavné lázně před okolní atmosférou je zajištěna netečným plynem o vysoké čistotě. Svařování může být realizováno s přídavným materiálem ve formě drátu při ručním způsobu svařování, nebo podavačem drátu s proměnou rychlosti podávání při automatickém svařování. Základní princip je na obr. 23. Použití metody TIG se vyznačuje proti jiným druhům tavného svařování mnoha výhodami. Inertním plynem je zabezpečena aktivní ochrana svarové lázně a přehřáté oblasti základního materiálu před účinky vzdušného kyslíku. Plynem je zároveň zabráněno propalu prvků a tím i vzniku strusky, výsledný povrch je díky tomu čistý. Zároveň je zabezpečena vysoká celistvost i na materiálech náchylných k naplynění a oxidaci při zvýšených teplotách. Svarová housenka je příznivě formována na straně povrchu i kořene svaru, metoda nevyžaduje použití tavidel, ale je možné je použít. Vytvořený elektrický oblouk má vysokou stabilitu v širokém rozsahu svařovacích proudů a je velmi flexibilní, jeho tvar a požadovaný směr lze ovládat magnetickým polem. Díky jednoduché obsluze a regulaci parametrů je umožněno přesné dávkování množství tepla vneseného do svaru, čímž lze docílit malé tepelně ovlivněné oblasti a minimální deformace.



Obr. 23 Princip svařování metodou TIG [12]

Z těchto důvodů se svařování TIG používá především pro svařované konstrukce z vysokolegovaných ocelí pro farmaceutický, chemický a potravinářský průmysl, ale také v oblasti klasické a jaderné energetiky, např. žárupevné a žáruvzdorné oceli na stavbu kotlů, tepelných výměníků a pecí. Technologie umožňuje možnost svařování titanových a speciálních slitin pro výrobu letadel či kosmické techniky. V oblasti dopravní techniky a všeobecného strojírenství se používá také pro svařování hliníkových slitin. Ukázky svaru vytvořeného ručním svařováním metodou TIG jsou na obr. 24.



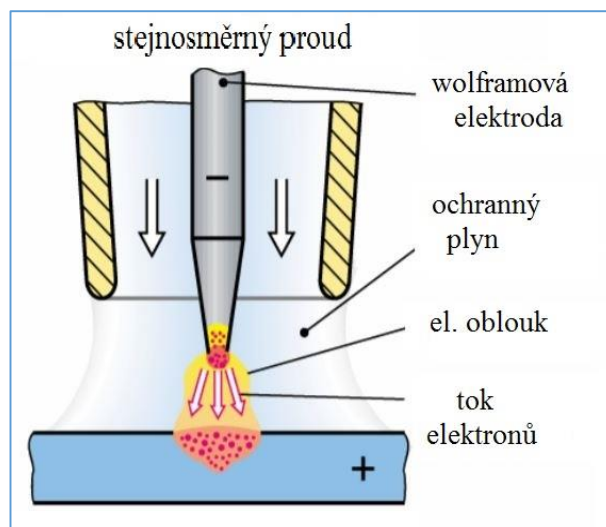
Obr. 24 Ukázky svarů při ručním svařování [18]

Metodu lze obecně rozdělit podle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hořčík, hliník a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan a další. Pro svařování uhlíkové oceli je metoda TIG využívána méně často z důvodu nebezpečí vzniku pórů se svaru a také z ekonomického hlediska.

Svařování wolframovou elektrodou je možné použít například i pro spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku (titan, zirkon). Je možné svařovat i různorodé materiály – ocel a měď, bronz nebo niklové a kobaltové slitiny na návary v oblasti renovací – opravy výrobků z nástrojové oceli. Svařováním TIG je dosahována vysoká kvalita spojů, procesy jsou často automatizovány a robotizovány.

Základním způsobem zapojení při svařování metodou TIG je svařování stejnosměrným proudem, viz obr 25. Při tomto zapojení je elektroda zapojena na záporný pól zdroje a svařovaný materiál na pól kladný. Tento druh zapojení se nazývá přímý. Dochází k nerovnoměrnému rozdělení tepla, přibližně 1/3 připadá na elektrodu a 2/3 jsou přeneseny do základního materiálu. Díky tomuto zapojení nedochází k tepelnému přetěžování elektrody a naopak je umožněn hluboký závar svarové lázně. Hloubka závaru je ovlivněna i dopadem elektronů, které svojí pohybovou energii přeměňují na tepelnou.

Svařování stejnosměrným proudem s přímým zapojením polarity je používáno pro spojování všech typů ocelí, mědi, titanu a jejich slitin. Přímý způsob zapojení se dá použít i pro svařování hliníku v ochranné atmosféře z argonu a nejméně 75% helia.

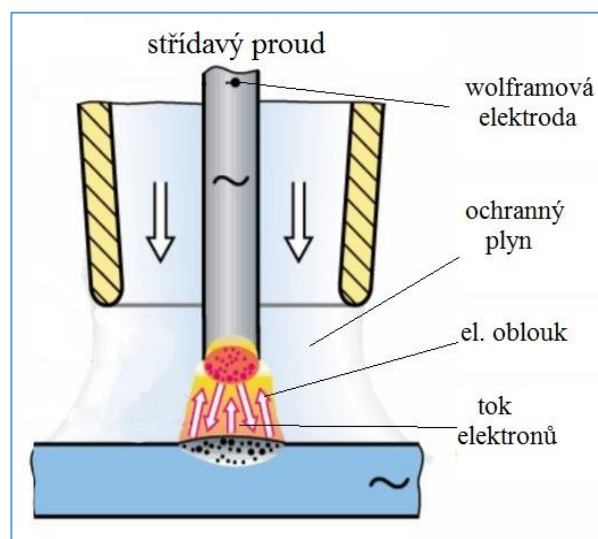


Obr. 25 Zapojení přímé [17]

Díky tepelné vodivosti helia je do svarové lázně přeneseno dostatečné množství tepla, které umožňuje roztavení oxidů na povrchu. Vlivem povrchových napětí dochází k přemísťování oxidů na okraj taveniny a střed lázně je čistý. Tento způsob svařování je používán zejména pro renovace a opravy rozměrných silnostěnných hliníkových odlitků nebo svařenců. Umožňuje spojovat součásti koutovým swarem.

Dalším možným zapojením je svařování střídavým proudem, viz obr. 26. Toho se používá z důvodu čistícího účinku při svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Výrazným problémem je zde totiž vrstva oxidu hlinitého, který za běžných podmínek chrání hliník před další oxidací. Vrstvička oxidu má ovšem vysokou teplotu tavení (2050°C) a při použití stejnosměrného proudu brání metalurgickému spojení.

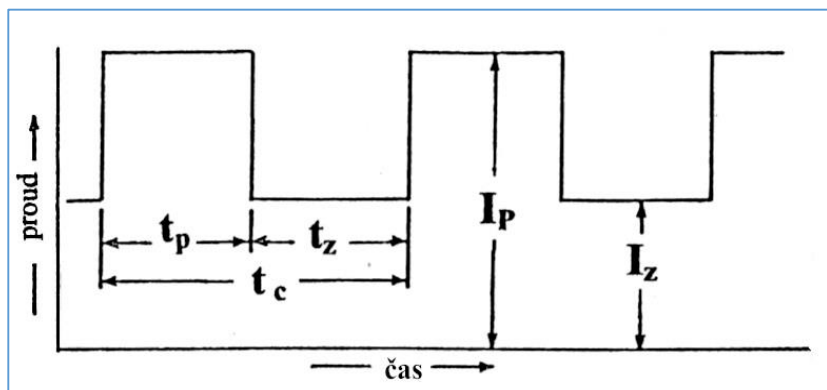
Čistící účinek je vyvolán připojením elektrody na kladný pól zdroje. Na základním materiálu dojde k vytvoření katodové skvrny, která není stabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy. V těchto místech se nacházejí elektrony s nižší potřebnou emisní energií a po střetnutí s katodovou skvrnou se snadněji odpaří. Druhý efekt čistícího účinku spočívá v rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Tyto ionty působí mechanicky na oxidy a dochází ke stažení vrstvy oxidů k okraji svarové lázně. Kladným zapojením elektrody dochází pouze k malému závaru, velká hloubka je dosahována při zapojení na záporný pól zdroje, kdy do tavné lázně dopadají urychlené elektrony.



Obr. 26 Zapojení na střídavý proud [17]

Moderní variantou TIG svařování je svařování impulsním proudem. Při něm se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi základním a impulsním proudem. Podle charakteru zdroje je možný tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový, nebo jiný.

Základní proud " I_z " o hodnotě přibližně 10-15 A je zajišťován ionizační obloukem v čase " t_z ". V případě, že doba základního proudu je delší než dvojnásobek doby pulsu, dojde k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což je výhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí. Pokud je naopak doba základního proudu kratší, lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr. V praxi je tato skutečnost využívána při požadavku zvláště hladkého svaru s plynulým přechodem do základního materiálu. Impulsním proudem " I_p " dochází v čase " t_p " k natavení svarové lázně a zároveň přídavného materiálu. Rozměry lázně jsou určeny především hodnotou amplitudy proudu " I_p " a dobou trvání impulsu, jeho průběh je naznačen na obr. 27. Touto technikou je dosažena vysoce přesná regulace svařovacího režimu, možnost dávkování množství vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Průměrná hodnota svařovacího proudu je nižší než při klasickém způsobu a proto vykazují svary



Obr. 27 Průběh impulsního proudu [11]

malou teplem ovlivněnou oblast a výborné plastické vlastnosti, menší deformace a nižší náchylnost na praskání. Součet pulsního a základního proudu dává celkový čas cyklu určující frekvenci pulsního svařování.

Při svařování TIG se používají netavící se wolframové elektrody, které se vyrábějí ze spékaného wolframu, který má teplotu tavení 3380 °C. Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy thoria, lanthanu, ceru a dalšími prvky, jak ukazuje tabulka 4. Každá elektroda musí být na jednom konci označena barevným páskem odpovídajícího odstínu. Přísadou oxidů je snížena teplota ohřevu elektrody až o 1000°C, zvýšena životnost a zároveň je docíleno lepšího zapalování oblouku a zvýšení jeho stability

Tab. 4 Barevná značení elektrod [17]

Označení elektrody	Barva	Legování
WP	zelená	čistý wolfram 99,8%
WT 10	žlutá	thorium 1% ThO ₂
WT 20	červená	thorium 2% ThO ₂
WT 30	fialová	thorium 3% ThO ₂
WT 40	oranžová	thorium 4% ThO ₂
WC 20	šedá	cerium 2,0% CeO ₂
WL 10	černá	lanthan 1,0% LaO ₂
WL 15	zlatá	lanthan 1,5 % LaO ₂
WL 20	modrá	lanthan 2,0% LaO ₂
WZ 08	bílá	zirkon 0,8% ZrO ₂

díky větší emisi elektronů.

Spotřeba netavící se elektrody při zatížení proudem činní cca 4 mm za hodinu.

Na konci bez barevného označení se elektrody brousí do požadovaného tvaru. Druh a způsob broušení závisí především na druhu svařovacího proudu, polaritě na elektrodě při stejnosměrném proudu, velikosti svařovacího proudu, hloubky a tvaru svarového úkosu.

Pro svařování stejno-směrným proudem se funkční konec elektrody brousí do tvaru kužele s vrcholovým úhlem v závislosti na proudu, pro střídavý proud se brousí do tupého konce, který se při zatížení povrchově na taví do kulového tvaru. Při broušení je nutné orientovat elektrodu tak, aby vzniklé rýhy odpovídaly podélnému směru. Tím je zajištěno hoření oblouku z vrcholu elektrody. Obrázek 28 znázorňuje základní tvary elektrod broušených pro stejnosměrný proud s nízkou (vlevo) a vysokou (vpravo) proudovou zátěží. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Závislost úhlu na proudu [16]

Svařovací proud	Do 20 A	20 – 100 A	100 – 200 A	Nad 200 A
Vrcholový úhel	30°	60 – 90°	90 – 120°	120°

Nejzatíženější částí svařovacích zařízení jsou hořáky. Zajišťují přívod elektrického proudu a ochranného plynu, nastavení polohy wolframové elektrody, případně přívod a odvod chladicí vody.

Hořáky se dělí na chlazené procházejícím plynem do cca 150 A a vodou chlazené hořáky do 350 A pro ruční, případně až do 500 A pro strojní svařování. Hořáky jsou vybaveny vyměnitelnými kleštinami, které zajišťují pevné upnutí a proudové

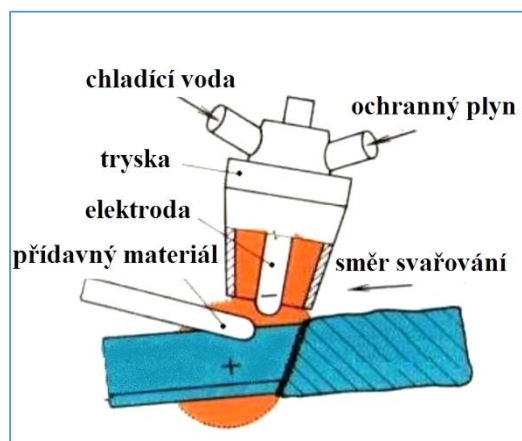


Obr. 28 Broušení elektrod [17]

napájení elektrod. Kvalitní upnutí je důležité z důvodu snížení přechodového odporu mezi kleštinou a elektrodou. Na obr. 29 je vidět rozložený hořák pro ruční svařování, kleštiny jsou při sestavování vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice společně s krytem. Další tepelně namáhanou částí je plynová tryska, která usměrňuje proudění plynu do místa svařování. Pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem se používají trysky keramické, pro strojní hořáky chlazené vodou jsou vhodné trysky kovové, schéma chlazení viz obr. 30. Hořáky jsou vybaveny spínačem elektrického proudu, který umožňuje dvoutaktní nebo čtyřtaktní funkci spínání svařovacího proudu a dovolují měnit velikost proudu v průběhu svařování.



Obr. 29 Hořák pro ruční svařování [18]



Obr. 30 Vodou chlazený hořák [16]

Pro zlepšení ochrany pomocí plynu se používají sítka (obr. 31), která prodlužují laminární proudění plynu a usnadňují přístup k místu svařování větším vysunutím elektrody. Síta mohou snížit množství potřebného ochranného plynu až o 50 % a umožňují vysunutí elektrody až na 15 - 20 mm.

Optimální průtok plynu je závislý na mnoha parametrech, jako například jeho typu, druhu svařovaného materiálu, hodnotě proudu, velikosti trysky, sklonu hořáku, stylu spoje či svařovací poloze. K zajištění dokonalého prostředí pro zapalování oblouku jsou svařovací zařízení vybavena funkcí předfuku. Během toho dochází k opoždění zapálení oblouku proti začátku proudění plynu o 2 - 5 sec. Pro ochranu elektrody a svarového kovu během chladnutí na teplotu, kdy již nehrozí oxidace, slouží dofuk. Tento mechanismus zajišťuje proudění plynu ještě 5 - 10 sec po vypnutí proudu.



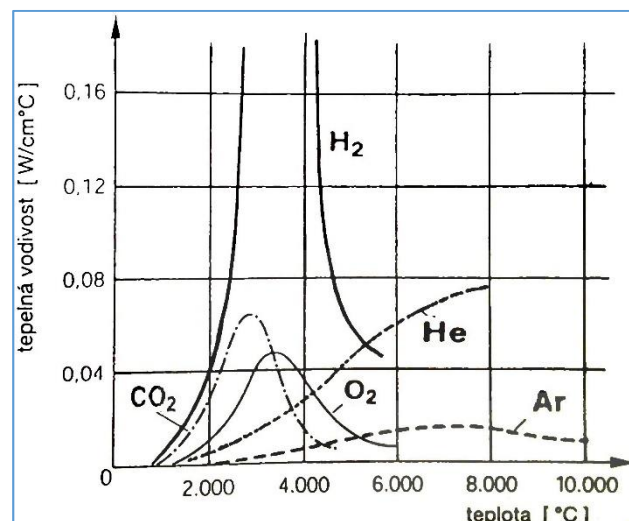
Obr. 31 Sítka [18]

Pro svařování vysoce reaktivních kovů jako T, Zr se k hořáku připevňuje speciální kryt, do kterého je přiváděn argon a který chrání svar při ochlazování do nižších teplot, kdy již nehrozí oxidace.

Používané plyny slouží nejen k ochraně svarové lázně a elektrody před atmosférickými vlivy, ale i k vytvoření příznivých podmínek pro zapálení oblouku a udržení jeho stability, přenosu tepla do svaru a jeho formování. Závislost tepelné vodivosti na teplotě je u vybraných komponent ochranných plynů na obr. 32, srovnání hustoty plynů na obr. 33.

- Argon (Ar), nejčastěji používaný, inertní, jednoatomový plyn, bez barvy, chuti a zápachu. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu. Má malou tepelnou vodivost

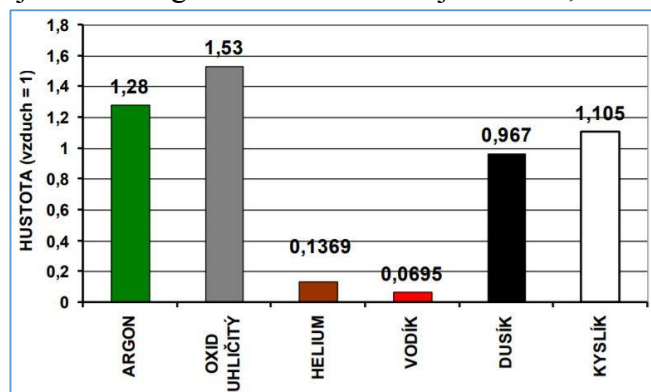
a nízký ionizační potenciál, díky tomu se v něm oblouk dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při velké délce a umožňuje velkou proudovou zátěž. Je asi 1,4 krát těžší než vzduch, to přispívá k efektivnosti a velmi dobré schopnosti ochrany svaru. Běžně vyráběná čistota plynu dosahuje hodnoty 99,995 %, pro materiály s vysokou afinitou ke kyslíku se používá i vyšší čistoty, až 99,999 %. Ochranu argonem lze použít pro všechny svařitelné materiály, je nejběžnější také z cenových důvodů.



Obr. 32 Závislost vodivosti na teplotě [11]

- Helium (He), inertní, jednoatomový plyn bez barvy a zápachu. Vyrábí se separací ze zemního plynu. Jedná se o velmi lehký plyn, to snižuje efektivitu plynové ochrany a proto je potřeba vyšší průtok než je tomu u argonu. Čistota dosahuje min. 99,996 %, s velmi limitovaným obsahem nečistot jako je dusík, kyslík a vodní pára. Vodivost a ionizační potenciál je podstatně vyšší než u argonu a proto se oblouk špatně zapaluje a při větší délce se stává nestabilním.

Napětí na oblouku v heliu je výrazně vyšší, než je tomu u argonu. Díky velké tepelné vodivosti dochází rovněž k velmi vysokému přenosu tepla, proto se směsi s ním používají pro materiály s vysokou tepelnou vodivostí, jako je hliník a měď.



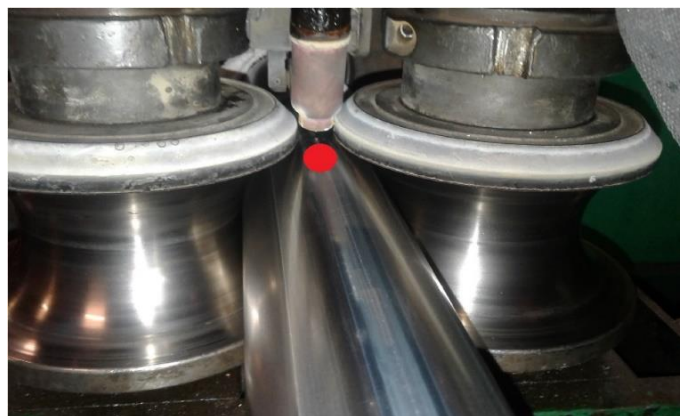
Obr. 33 Porovnání hustot plynů [16]

Pro svařování se používají také směsi plynů, které kombinují jejich výhodné vlastnosti:

- Helium s argonem se nejčastěji používá v poměru 7/3; 5/5; 3/7. Se stoupajícím obsahem helia dochází ke zvyšování napětí a tepelného výkonu na oblouku, což má pozitivní vliv na tvar a rozměr svaru. Rovněž dochází ke zvýšení hloubky závaru a rychlosti svařování.
- Argon a vodík je směs s podobnými vlastnostmi jako Ar + He, díky velmi vysoké tepelné vodivosti zlepšuje energetickou bilanci oblouku. Přídavkem 5 – 10 % vodíku se zlepšuje čistota svaru díky redukci oxidů, zlepšuje se tvar a hloubka závaru a zvyšuje rychlost svařování. Vodík se může používat jen pro svařování vysoce legovaných austenitických a austeniticko – feritických CrNi ocelí, nebo niklu a jeho slitin.
- Argon s dusíkem se používá především pro mědi a její slitiny. Dusík je dvouatomový plyn, má větší tepelnou vodivost a přenáší tedy do svarové lázně větší podíl tepla. Standartní obsah dusíku se pohybuje kolem 10 %.

Proti oxidaci kořene svaru a vyhřáté oblasti základního materiálu se používají formovací plyny. Jejich složení musí být inertní, redukční nebo nereagující se svařovaným materiálem. Pro svařování vysokolegovaných austenitických ocelí a niklových slitin lze použít směs argonu s vodíkem, nebo dusíku s vodíkem, protože nejsou náchylné na vodíkovou křehkost.

Dosavadní výroba trubek ve společnosti ACO probíhá právě svařováním metodou TIG. Možné zlepšení této technologie pro konkrétní požadavky firmy by spočívalo v sériovém zapojení dvou hořáků TIG, při vzdálenosti elektrod cca 30 mm od sebe, jak konstrukční možnosti dovolí. Na obr. 34 je vidět svařovací hořák a červenou tečkou zvýrazněna přibližná oblast umístění druhého hořáku. První by plnil funkci předehřevu materiálu, druhý by plnohodnotně svářel.



Obr. 34 Umístění hořáků

Tato metoda byla již v podniku testována a ukázala se jako funkční, s možností dosažení rychlosti až 3 m/min, což je proti stávajícímu stavu nárůst o cca 50 %. Problém nastává v pracovním seřízení hořáků a tedy nutnosti zkušené a zručné obsluhy. Použití metody pro zvýšení rychlosti, ale zároveň také náročnosti seřízení stroje, je na zvážení operátora výroby.

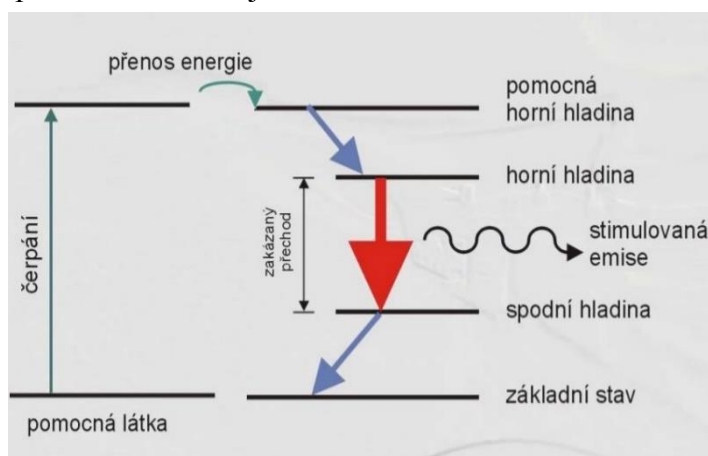
Jako druhá dílčí možnost zvýšení rychlosti sváření se jeví použití jiného ochranného plynu, například argonu s heliem či vodíkem. Tyto směsi totiž vykazují větší tepelný výkon oblouku a vyšší svařovací rychlost. Použití směsí s heliem je ovšem nákladnější a je opět na zvážení při porovnávání cena/výkon.

2.2 Svařování metodou Laser [12], [13], [19], [20], [21], [22]

Název LASER je odvozen z angličtiny z počátečních písmen popisu vlastní podstaty jeho fungování. Jedná se o Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – tedy zesílení světla stimulovanou emisí záření. Princip emise elektronů je na obr. 35.

V technické praxi se dnes používají různé typy laserů, lze je kategorizovat podle typu čerpání, druhu aktivního záření nebo podle režimu provozu. Základní funkční schéma laseru je na obr. 36.

Během vzájemného působení záření s materiálem nedochází k přeměně pohybové energie na tepelnou. Foton jako kvantum energie přímo zvýší frekvenci kmitání mřížky a tím dojde k ohřevu materiálu. Mimo to u kovových materiálů vznikají v místě dopadu fotonů vířivé proudy, které výrazně urychlují tavení materiálu. Část energie svazku záření dopadající na povrch se odrazí, pouze část je pohlcena a využita pro ohřev materiálu a zároveň



Obr. 35 Princip emise [20]

pro ohřev materiálu a zároveň

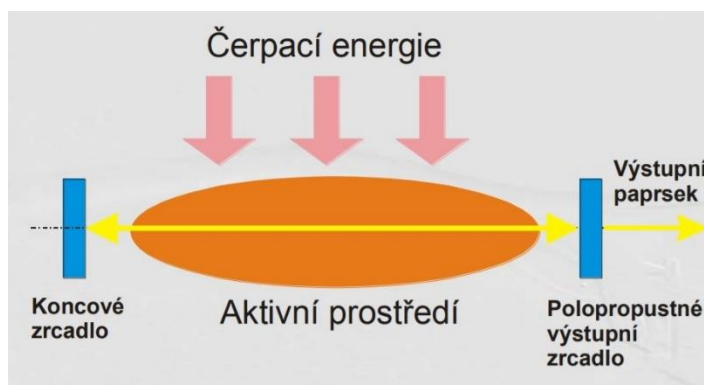
velmi malé množství záření projde materiálem. Absorpce závisí ve velké míře na teplotě a vlnové délce. Pohlcené množství záření proniká do povrchové vrstvy materiálu, hloubka průniku se odvíjí od výkonu zdroje, vodivosti materiálu a frekvence záření.

Zařízení může pracovat v pulsním provozu, který umožňuje svařování i velmi tenkých materiálů. Svařovacím cyklem trvajícím kolem 1ms lze spojovat i materiály o tloušťce řádově v desítkách μm .

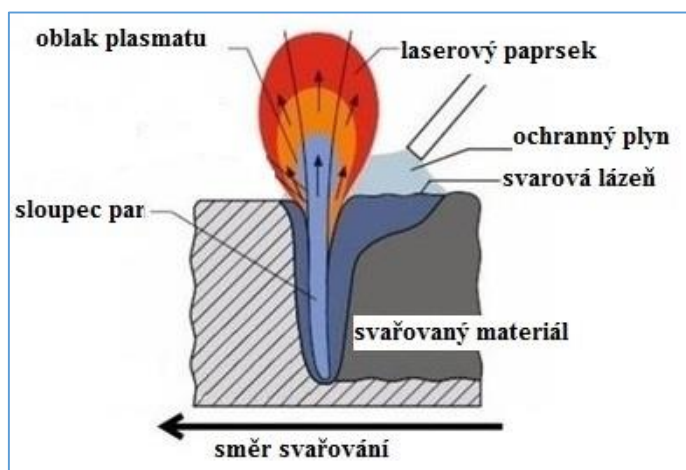
Rovnoběžný paprsek laseru je pomocí vhodného optického zařízení zaostřen do bodu - ohniska, kde vlivem vysoké koncentrace energie dochází k velmi rychlému ohřevu, řádově mnohem vyššímu, než jak je odvod tepla. Vzniká zde kapilára vyplněná parami kovů pod vysokým tlakem. Tento jev se podle anglického označení „key hole“ v češtině také označuje jako svařování klíčovou dírkou nebo svařování průchozím paprskem a mimo laseru je charakteristickým znakem také pro svařování plazmou a svazkem elektronů, viz obr. 37. Vlivem vysoké teploty dochází k ionizování par a vzniká laserem indukovaná plazma, která tryská vysokou rychlostí z místa svaru. Plazma brání pronikání paprsku do svarové spáry, pohlcuje značnou část záření a snižuje hloubku průniku fotonů. Běžně se proto plazma odfoukává ochranným plynem – argonem, případně argonem s oxidem uhličitým, nejlepší výsledky vykazuje helium. Ochranným plynem je současně chráněn tavná lázeň a tuhnoucí kov před oxidací vzdušným kyslíkem. Svařování je na obr. 38.

Působení indukované plazmy je možno ovlivnit pomocí parametrů svařování, ty musí být nastavené tak, aby nedocházelo k odpařování materiálu, dokud se neprohřeje do oblasti tavení v podpovrchové vrstvě. Tímto způsobem dojde k vytvoření svarového kráteru s příhodným rozložením taveniny. Svařování je většinou uskutečněno bez přídavného materiálu, ale vývoj směřuje i k možnosti jejich použití.

Svařitelnost materiálu je obecně podobná jako u metody TIG.



Obr. 36 Funkční schéma laseru [20]



Obr. 37 Princip svařování [22]



Obr. 38 Svařování laserem [22]

Díky malému vnesenému teplu je rychlost ochlazování vysoká a proto u svařované oceli nesmí obsah uhlíku překročit 0,2 %.

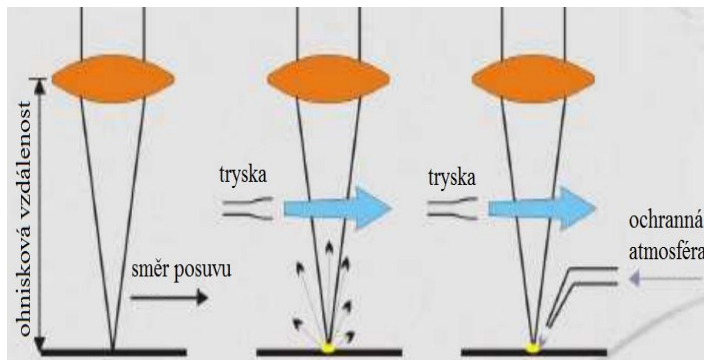
Výborných výsledků svařování je dosahováno u vysokolegovaných ocelí, molybdenu nebo niklu. Laser umožňuje velmi rychlý ohřev a svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí – Cu, Al, Ag a materiálů s vysokou teplotou tavení – W, Mo, Ti, Zr aj.

Při svařování je třeba dodržet zásadní podmínky pro správnou funkci laseru. Paprsek musí dopadat kolmo na svařovaný povrch, odstup zařízení od materiálu musí být konstantní, jako i posuvná rychlost. K důležitým požadavkům rovněž patří ochrana optického zařízení proti poškození. Princip přivedení ochranné atmosféry je na obr. 39. Svařování tenkých plechů v oblasti automobilového průmyslu je ovšem možno provádět i bez ochranné atmosféry a technologie umožňuje provedení různých typů svárů.

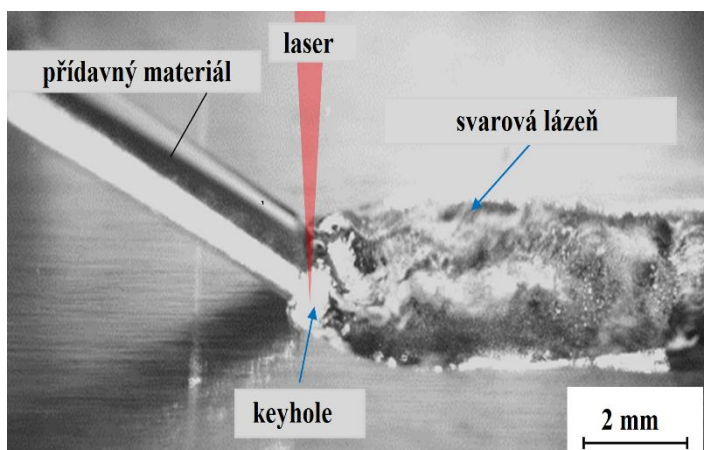
Příprava svarových ploch není náročná, vzhledem k vysoké hustotě energie nejsou kladeny zvláštní požadavky na čistotu svařovaného materiálu. Nečistoty a tuky jsou před natavením svarové lázně jednoduše odpařeny. Optimální velikost mezery mezi svařovanými materiály se pohybuje v rozmezí přibližně 0,05-0,2 mm, u tenkých plechů v tisícinách mm. V případě větších mezer lze použít přídavný materiál, viz obr. 40.

Funkčním pracovním prvkem laseru je svařovací hlava. Zde probíhá fokuse svazku a je zde realizována ochrana optiky. Zároveň je tudy ke svaru přiváděna ochranná atmosféra, viz obr. 41. Svařovací hlava bývá většinou umístěna na pracovním robotu, v některých případech pevně usazena v rámu stroje, jak je vidět na obrázcích 42 a 43.

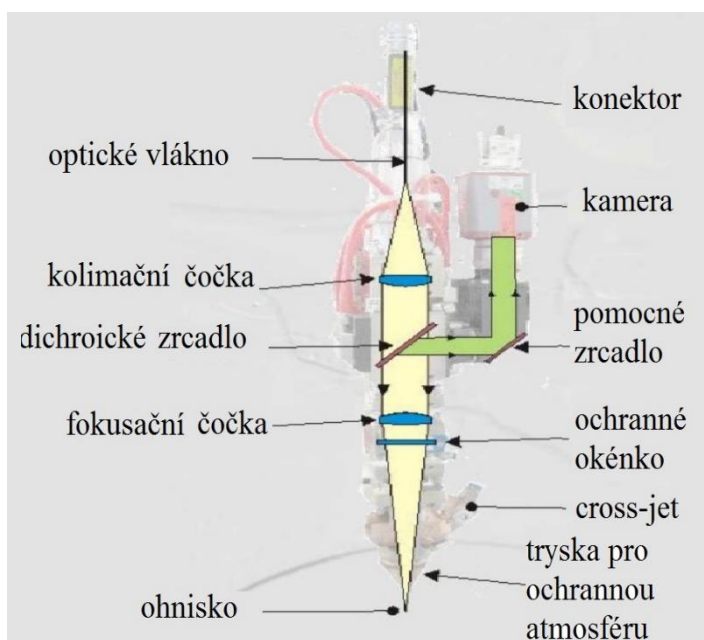
Použití technologie laseru přináší mnoho výhod. Lasery jsou vysoce adaptabilní s možností rychlé změny technologie, proces lze snadno automatizovat. Provoz je čistý,



Obr. 39 Schéma přívodu plynu [19]



Obr. 40 Použití přídavného materiálu [22]



Obr. 41 Schéma svařovací hlavy [21]

bez potřeby přídavných materiálů a odpadů. Vytvořené zplodiny je možné snadno a efektivně odsávat. Chod zařízení je tichý, hluboko pod hranici hluku běžných technologií.

Možné zefektivnění procesu pomocí technologie svařování laserem by bylo vhodné z hlediska kvality tvořeného svaru, zařízení by nejspíše bylo možné zařadit do provozu bez větších konstrukčních změn stávající linky. Tvarovací a řezací část původního stroje by zůstaly zachovány, stůl se svařovacím zařízením by musel být uzpůsobena laseru. Příklad podobné výrobní linky je na obr. 44. Výsledný stroj by však nebylo možné dokonale optimalizovat, protože laser dokáže dosáhnout vyšší svařecí rychlosti, než jakou je linka schopna tvořit profil.



Obr. 42 Robot [21]



Obr. 43 Umístění pevné [21]

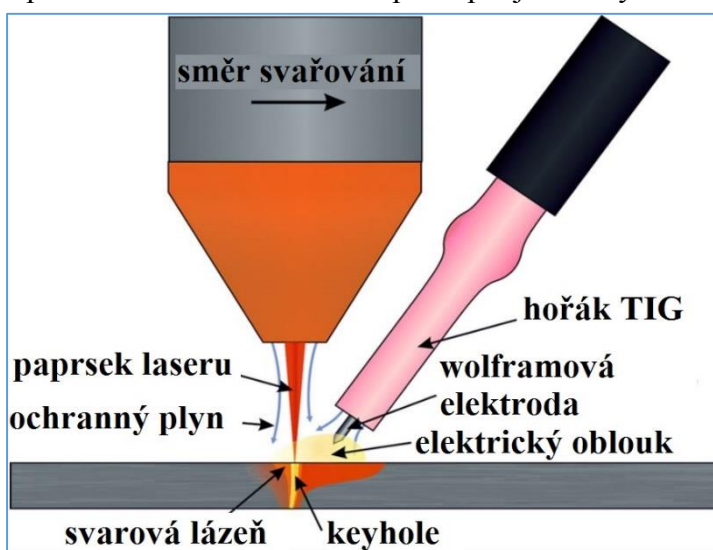


Obr. 44 Linka na výrobu trubek [19]

2.3 Svařování hybridní metodou LATIG [13], [19], [21], [23], [24]

Název metody je odvozen od původních technologií, jejichž vlastnosti kombinuje a to sice laser a TIG. Jedná se o speciální případ tavného svařování. V principu jde o vytvoření synergického efektu mezi laserem a elektrickým obloukem vzniklým při metodě TIG.

Svařování laserem je ve srovnání s konvenčními metodami doprovázeno velkou rychlostí chlazení. Tento jev může vést ke vzniku nežádoucí mikrostruktury svařovaných materiálů, což má negativní dopad na mechanické vlastnosti. Kvůli vysoké rychlosti laseru je předehřívání problematické, je ale možno využít teplo z obloukového výboje přidruženého hořáku TIG.

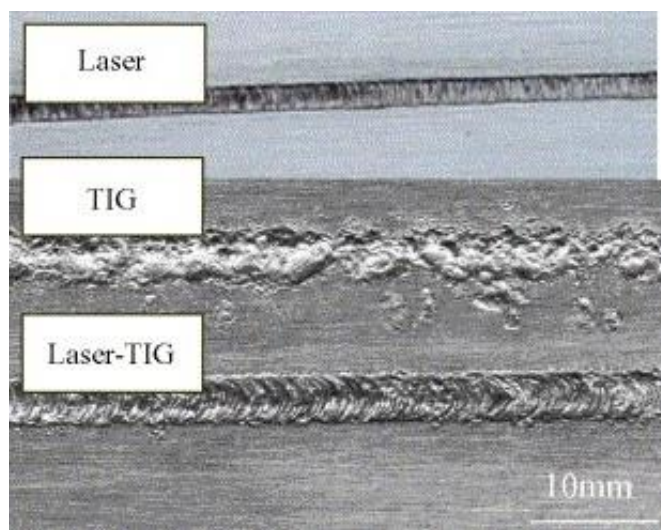


Obr. 45 Schéma umístění komponent [23]

Hořák je přesně upnut na laserovou svařovací hlavu tak, aby umožnil umístění elektrody TIG směrem k laserovému paprsku, viz obr. 45.

Kombinací metod je dosaženo hlubšího závaru při relativně malé teplem ovlivněné oblasti a poměrně vysoké svařovací rychlosti. Technologie je vhodná pro svařování korozivzdorných ocelí, je zde omezena tvorba pórů a karbidů a růst zrn v teplem ovlivněné oblasti. Účel elektrického oblouku je zde předehřev materiálu a snížení rychlosti chladnutí a tedy tvorby hrubozrné struktury.

Další uplatnění nachází metoda u svařování hořčíkových slitin. Při konvenčním svařování metodou TIG vzniká vysoká porosita ve svaru, způsobená uvolňujícím se vodíkem, kombinací metod je možno porositu redukovat a navíc zvýšit stabilitu svařovacího procesu. Sváry hořčíkové slitiny vytvořené jednotlivými technologiemi jsou na obr. 46.



Obr. 46 Druhy svarů [24]

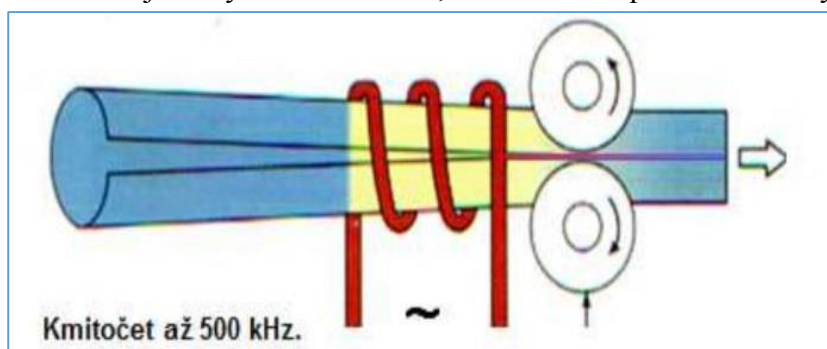
Zefektivnění procesu touto technologií by nejspíše probíhalo velice podobně jako v případě laseru, jelikož svařovací zařízení LaTig se konstrukčně příliš neliší, podobný stroj na výrobu trubek využívající tuto technologii je na obr. 47. Výsledná kvalita svaru by s největší pravděpodobností byla vyhovující. Metoda se přesto nejeví jako vhodná, protože poměr mezi zvýšením rychlosti svařování a pořizovací cenou stroje by byl velice malý.



Obr. 47 Svařovací zařízení [21]

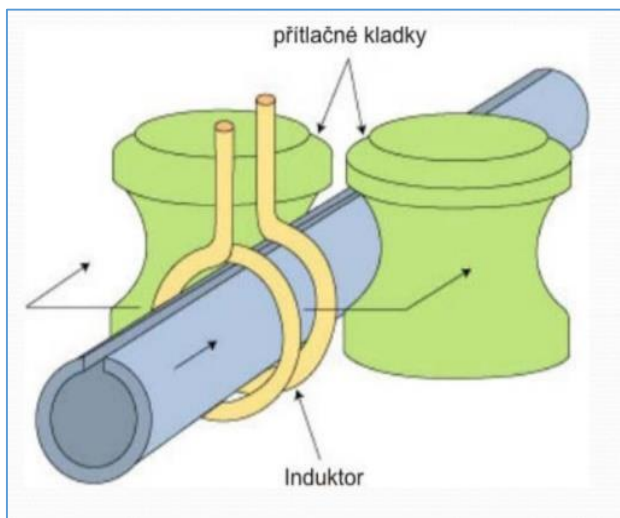
2.4 Indukční svařování [11], [12], [25], [26]

Indukční svařování, označované také jako vysokofrekvenční, se řadí mezi speciální metody tlakového svařování. Podstatou výroby profilů je ohřátí materiálu elektrickou indukcí a následné spojení ohřátých hran. K ohřevu dochází působením magnetického pole vznikajícího průchodem střídavého proudu v cívce, základní princip je na obr. 48.



Obr. 48 Princip indukce [25]

Vysokofrekvenční svařování bylo patentováno již roku 1946 v Rusku. Je založeno na elektromagnetické indukci, skin efektu, cívkovém efektu a dalších jevech. Vlivem skin efektu dochází u střídavého proudu k nerovnoměrnému rozdělení proudu v průřezu vodiče. Vyšší hodnota frekvence proudu má za následek rychlejší zvyšování hustoty proudu směrem



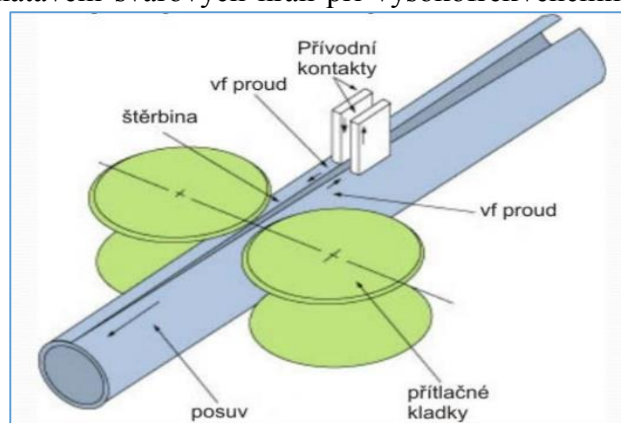
Obr. 49 Schéma přívodu přes kontakty [26]



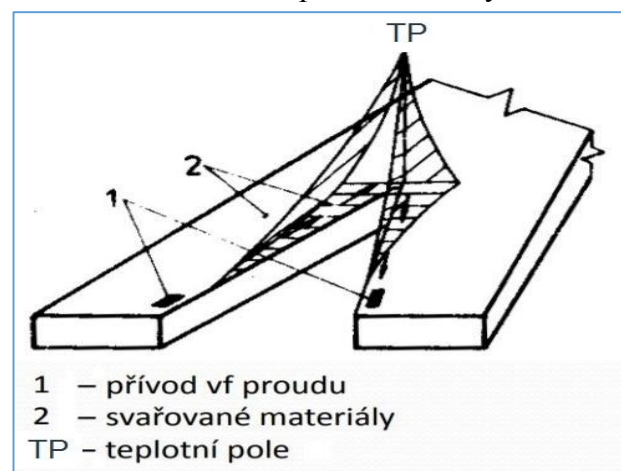
Obr. 50 Přívod z cívky [25]

k povrchu. Povrchové vrstvy se tedy odporovým teplem ohřívají na vyšší teplotu než střední část materiálu. Toho se využívá k ohřevu a natavení svarových hran při vysokofrekvenčním svařování, které je možno rozdělit na další procesy. Možné způsoby přivedení vysoké frekvence ke svařovanému profilu jsou na obr. 49 a 51, praktická konstrukce zařízení je na obr. 50.

- Svařování tlakem s natavením hran materiálů probíhá tak, že hrany profilu jsou ohřívány na tavní teplotu průchodem proudu mezi třecími kontakty. Ty jsou od sebe vzdáleny 50 – 250 mm. Tavenina je v tomto případě ze svaru vytlačována vysokým měrným tlakem v rozsahu 100 - 600 Mpa. Schématické zobrazení metody je na obr. 52.
- Svařování tlakem bez natavení hran je charakterizováno ohřevem materiálu na teplotu přibližně o 150 °C nižší, než je teplota tavení. Ke spojení hran dojde výraznou deformací při stlačení, která zajistí rozrušení oxidů a jejich vtlačení do výronku.



Obr. 51 Schéma přívodu z cívky [26]



Obr. 52 Svařování s natavením hran [11]

Zlepšení kvality svaru je dosahováno použitím tavidla nebo ochranného plynu.

- Tavné svařování bez stlačování využívá ohřev materiálu na teplotu tavení indukčně, nebo přímým průchodem proudu. Jednotlivé poloviny svaru jsou spojeny bez použití tlaku, nebo jen nízkým tlakem. Svařování je vhodné pro materiály tloušťky 0,3 – 2 mm, pro uhlíkovou i austenitickou ocel a různorodé kombinace materiálů.



Obr. 53 Svařování trubek [25]

Vysokofrekvenční svařování je často používaná metod výroby profilů z oceli. Rozhodující je zde velmi vysoká produktivita výroby. Zefektivnění procesu touto technologií se jeví jako možné, rychlost svařování by se podstatně zvýšila a umožnila tím celkový nárůst výkonu stávajícího zařízení. Nevýhoda spočívá v možné náročnosti implementace svařovací části na původní linku z důvodu nutnosti úprav konstrukčního uspořádání, viz obr. 53. Stroj by ale nebyl optimalizovaný, protože rychlost svařování touto metodou je několikrát větší, než válcování profilu stávající metodou.

2.5 Vyhodnocení svařovacích metod [4], [7], [11], [13], [21], [23]

Pro přehlednost byly výhody a nevýhody jednotlivých metod zpracovány do tabulky. V potaz byla brána základní kritéria jako rychlost, cena a náročnost implementace do stávajícího procesu. Volba vhodné technologie je na uvážení firmy

Tab. 6 Srovnání dostupných metod [4], [7], [11], [13], [21], [23]

Metoda	TIG (stávající metoda)	2 hořáky TIG	Změna plynu při TIG	LASER	LATIG	Indukce
Rychlost [m/min]	1,5 – 2	cca 3	navýšení v řádu jednotek %	10	3 – 4	10
Cena	X	relativně nízká	střední	vysoká	vysoká	relativně vysoká
Implementace do stávajícího procesu	X	snadná, obtížnější seřízení	snadná	obtížná	obtížná	velmi obtížná

Pozn. Rychlost 10 m/min není pro vybrané technologie limitní, ale je dána zbývajícím částmi linky a není možné ji navýšit bez kompletní výměny stávajícího profilovacího zařízení.

3 ZÁVĚRY

Řešeným problémem byla metoda výroby trubek ve firmě ACO Industries k.s. Stávající proces nedostačuje požadavkům na výrobu, proto bylo potřeba optimalizovat.

Současná výroba se skládá ze 3 hlavních operací – válcování profilu, svařování a řezání trubky. Bylo zjištěno, že nejpomalejší částí procesu je právě metoda spojování vytvořeného profilu, tedy svařování. Na základě této skutečnosti byl proveden průzkum možných náhrad svařovacího procesu.

Stávající metoda TIG je vhodná z hlediska kvality svaru, rychlost však nepostačuje nárokům. Proces lze urychlit použitím dvou svařovacích hořáků umístěných v sérii. Výsledný výkon zařízení by tím bylo možné zvýšit z 1,5 m/min až na 3 m/min.

Další možností bylo použití laseru, kvalita svaru by zůstala na vysoké úrovni, rychlost svařování by však byla výrazně větší než válcování profilu a tím by došlo k limitování na rychlost cca 10 m/min. Laser by tedy byl omezen na nízký výkon, což je při posouzení cenových nákladů nevyhovující.

Třetí možností bylo použití moderní technologie, tedy hybridního svařovacího zařízení LaTig, které dokáže produkovat velice kvalitní svar. Rychlost svařování by jím bylo možné zvýšit na cca 3-4 m/min, což je srovnatelné s prvním případem. Vzhledem k cenové náročnosti by tato technologie nebyla vhodná.

Poslední variantou byla technologie indukčního svařování, která by při zachování dobré kvality svaru proces několikanásobně urychlila. Přestavba zařízení by však byla značně náročná a podobně jako u laseru by relativně pomalým válcováním profilu došlo k omezování výkonu svařování. Z toho důvodu se metoda jeví jako nevhodná.

Jako nejvhodnější se zdá modifikace stávajícího procesu svařování metodou TIG na použití dvou svařovacích hořáků, protože konstrukční změna současného zařízení by byla minimální a proces by byl urychlen až na dvojnásobek. Nevýhodou by bylo náročnější seřizování, ale výsledné zvýšení rychlosti by bylo markantní. Jednoduchá úprava by spočívala také v použití jiného ochranného plynu, nejen u metody současné, ale i při použití dvou hořáků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [27]

1. ACO Industries k.s. [online]. Příbyslav, 2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.aco.cz/produkty/nerezove-odvodneni-podlah/hygienicke-vpusti/>
2. ACO PIPE [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.aco.co.uk/products/aco-pipe>
3. POČTA, Bohumil. Ocelové trubky. I. bezešvé trubky. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1963, 413 s. ISBN DT-621.774.3/.38.
4. POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: učebnice pro hutnické fak. Vys. školy báňské. 2. díl, Svařované trubky. Praha: SNTL, 1964, 225, [2] s. ; 8°. ISBN DT 621.774.2.
5. DVOŘÁK, Milan. Technologie. II. 2. Brno: CERM, 2001, 238 s. : il. ISBN 80-214-2032-4.
6. Ocel 1.4301. TECH portal [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/cr-ni-austeniticka-ocel-odolna-korozi-1-4301-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EppFhJYVc3tsd1LE1veXKSb2ZspOsA8wwA/?query=ocel%201.4301&serp=1>
7. Ocel 1.4404. TECH portal [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/cr-ni-austeniticka-ocel-odolna-korozi-1-4404-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EppFhJYVc3tsZUJqi5kAPU9rJfTGJxQrnQ/?query=ocel%201.4404&serp=1>
8. Defektoskop vířivých proudů. PTS Josef Solnář [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.ptsndt.com/cs/prodej/et-zkouseni-virivymi-proudy/et-pts-pristroje/443-defektoskop-virivych-proudu-dvp-102>
9. BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000, 213 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-85771-72-1.
10. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011, xii, 331 s. : il. ISBN 978-1-107-00452-8.
11. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
12. Speciální technologie svařování: RNDr. Libor Mrňa, Ph.D. [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_uvod_do_specialnich_tehnologii_svarovani_mrna.pdf
13. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie_svarovani_5te_etv_etv-k_kubicek.pdf

14. SPECIÁLNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_specialni_metody_svarovani_kubicek.pdf
15. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ: Svařování. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/ctv_technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf
16. TECHNOLOGIE II: ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_svarovani_tavne_kubicek.pdf
17. TECHNOLOGIE II. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_I_kubicek.pdf
18. Facebook|czechweldporn. Czech Weld Porn [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: https://www.facebook.com/pg/czechweldporn/photos/?ref=page_internal
19. Technologie využívající laser: RNDr. Libor Mrňa Ph.D. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_svarovani_laserem_2013_mrna.pdf
20. Základy laserové techniky: RNDr. Libor Mrňa Ph.D. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_zaklady_laserove_techniky_2013_mrna.pdf
21. Sigmund M. Svařování laserem, prezentováno v [Fakulta strojírenského inženýrství; 2019-05-15; Brno; Česká republika]
22. Laser Welding. Researchgate.net [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Adriano_Pereira18/publication/322256385/figure/fig2/AS:631618511306852@1527600996789/a-Autogenous-laser-keyhole-welding-and-b-wire-feed-laser-welding-schematics-Adapted.png
23. Šebestová, H.; Horník, P.; Mrňa, L.; aj.: The Effect of Arc Current on Microstructure and Mechanical Properties of Hybrid LasTIG Welds of High-Strength Low-Alloy Steels. Metallurgical and Materials Transactions B , ročník 49, č. 6, 2018: s. 3559–3569, ISSN 1073-5615.
24. LIMING, Liu, Wang JIFENG a Song GANG. Hybrid laser–TIG welding, laser beam welding and gas tungsten arc welding of AZ31B magnesium alloy. Materials Science & Engineering A [online]. Elsevier B.V, 2004, 381(1), 129-133 [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.1016/j.msea.2004.04.044. ISSN 0921-5093. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0921509304003752>
25. Sigmund M. Svařování elektrickým odporem a třením, prezentováno v [Fakulta strojírenského inženýrství; 2019-05-15; Brno; Česká republika]

26. Vysokofrekvenční svařování: RNDr. Libor Mrňa Ph.D. Ústav strojírenské technologie [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_vysokofrekvencni_svarovani_mrna.pdf
27. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
D	Průměr	[mm]
I_P	Impulsní proud	[A]
I_Z	Základní proud	[A]
TP	Teplotní pole	[-]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
t_C	Celkový čas	[sec]
t_P	Čas impulsního proudu	[sec]
t_Z	Čas základního proudu	[sec]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Žlab s výpustí [1]	9
Obr. 2 Vpust' [1]	9
Obr. 3 Běžně používané trubky s vyhrdleními [2].....	9
Obr. 4 Otáčecí zařízení	11
Obr. 5 Svitek na odvíjecím zařízení	11
Obr. 6 Pomocný stůl	11
Obr. 7 Vstupní válce	11
Obr. 8 Profilovací válce	12
Obr. 9 Schéma postupného profilování	12
Obr. 10 Skladování přípravků	12
Obr. 11 Válec s žebrem.....	12
Obr. 12 Umístění hořáku	13
Obr. 13 Pomocné kladky	13
Obr. 14 Uchycení jádra	13
Obr. 15 Jádro	13
Obr. 16 Špička profilu	13
Obr. 17 Rozválcování svaru	13
Obr. 18 Detekce a značení vad	14
Obr. 19 Defektoskop	14
Obr. 20 Kalibrační válce	14
Obr. 21 Rovnáci válce	14
Obr. 22 Pila pro letmé dělení	14
Obr. 23 Princip svařování metodou TIG [12].....	15
Obr. 24 Ukázky svarů při ručním svařování [18]	16
Obr. 25 Zapojení přímé [17]	16
Obr. 26 Zapojení na sřídavý proud [17]	17
Obr. 27 Průběh impulsního proudu [11].....	17
Obr. 28 Broušení elektrod [17]	18
Obr. 29 Hořák pro ruční svařování [18]	19
Obr. 30 Vodou chlazený hořák[16]	19
Obr. 31 Sítko [18]	19
Obr. 32 Závislost vodivosti na teplotě [11]	20
Obr. 33 Porovnání hustot plynů [16]	20
Obr. 34 Umístění hořáků	21
Obr. 35 Princip emise [20].....	21
Obr. 36 Funkční chéma laseru [20]	22
Obr. 37 Princip svařování [22]	22
Obr. 38 Svařování laserem [22]	22
Obr. 39 Schéma přívodu plynu [19]	23
Obr. 40 Použití přídavného materiálu [22]	23
Obr. 41 Schéma svařovací hlavy [21].....	23
Obr. 42 Robot [21].....	24
Obr. 43 Umístění pevné [21]	24
Obr. 44 Linka na výrobu trubek [19].....	24
Obr. 45 Schéma umístění komponent [23]	24
Obr. 46 Druhy svarů [24].....	25

Obr. 47 Svařovací zařízení [26]	25
Obr. 48 Princip indukce [25]	25
Obr. 49 Schéma přívodu přes kontakty [26]	26
Obr. 50 Přívod z cívky [25]	26
Obr. 51 Schéma přívodu z cívky [26]	26
Obr. 52 Svařování s natavením hran [11]	26
Obr. 53 Svařování trubek	27

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti oceli 1.4301 [6].....	10
Tab. 2 Vlastnosti oceli 1.4404 [7].....	10
Tab. 3 Vyráběné rozměry trubek [2]	10
Tab. 4 Barevná značení elektrod [17]	18
Tab. 5 Závislost úhlu na proudu [16].....	18
Tab. 6 Srovnání dostupných metod [4], [7], [11], [13], [21], [23]	27

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list oceli 1.4301 [6]
- Příloha 2 Materiálový list oceli 1.4404 [7]